Aus dem Röntgeninstitut der Universität Bern
Direktor: Prof. Dr. med. Ad. Liechti

Summationsversuche

von Ultraviolett- und Röntgenstrahlen
auf Vicia faba aequina

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Würde eines Doctor medicinae
der Universität Bern

vorgelegt von

Vinzenz Rösli
aus Pfaffnau, Luzern

Buchdruckerei G. Krebs, Basel 1942

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547623_0100

Aus dem Röntgeninstitut der Universität Bern
Direktor: Prof. Dr. med. Ad. Liechti

Summationsversuche

von Ultraviolett- und Röntgenstrahlen
auf Vicia faba aequina

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Würde eines Doctor medicinae
der Universität Bern

vorgelegt von

Vinzenz Rösli
aus Pfaffnau, Luzern

Buchdruckerei G. Krebs, Basel 1942

Auf Antrag des Herrn Prof. Dr. med. Ad. Liechti von der medizinischen Fakultät Bern zum Druck als Dissertation genehmigt.

Bern, den 4. März 1942.

Der Dekan der medizinischen Fakultät:
Muralt.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Die Versuche über Summation von Ultraviolett- und Röntgenstrahlen bilden ein Kettenglied vieler speziellen Untersuchungen biologischer Strahlenwirkungen, ausgeführt am Röntgeninstitut der Universität Bern. In einer Arbeit von *Salzmann* wurde die Wirkung von Röntgenstrahlen auf das Wachstum der Vicia faba aequina abgeklärt. Man konnte nicht nur beweisen, dass Röntgenstrahlen eine bestimmte Wirkung auf das Wachstum ausüben, sondern eindeutig zeigen, dass bestimmte kleine Dosen das Wachstum fördern, grössere es hemmen. — *Dölken* behandelte in einer andern Arbeit die Frage der Intensitätsabhängigkeit. Er konnte beweisen, dass gleiche Dosen mit verschiedener Intensität und Zeit verschiedene Wirkungen hervorrufen. — *Bakes* und *Herren* machten analoge Versuche mit Ultravioletstrahlen. Wir verweisen diesbezüglich auf ihre ausführlichen Arbeiten und Darstellungen.

Uns stellt sich die Aufgabe, zu zeigen, wie die Summation von Ultraviolett- und Röntgenstrahlen sich am Pflanzenwachstum auswirkt. Die Frage lautet dementsprechend: Liegt eine Summation vor? Wenn ja, ist diese Summation eine vollständige? Wenn nicht, besteht ein Einfluss in der Art der Applikation? Wir werden also bei unseren Versuchen zuerst die Frage prüfen, ob sich Röntgen- und UV-Strahlen überhaupt summieren. Des weitern werden wir feststellen, ob diese Summation eine vollständige ist. Um diese Frage beantworten zu können, müssen wir die Arbeiten von *Salzmann* — „Über den Einfluss von Röntgenstrahlen auf das Wachstum der Sojabohne" — und *Bakes* — „Über den Einfluss von Ultravioletstrahlen auf des Wachstum der Sojabohne" — heranziehen, um deren Resultate mit den unsrigen zu vergleichen. Für den Fall, dass diese Summation keine vollständige ist, drängt sich uns

eine weitere Frage auf, ob die Art der Applikation das Pflanzenwachstum beeinflusst. Mit andern Worten, können wir einen Wachstumsunterschied feststellen, wenn wir zuerst UV, dann Rö, oder Rö und dann UV, oder UV und Rö gleichzeitig applizieren? Wir werden daher verschiedene Versuchsarten auszuführen haben, indem wir im Versuch I UV-, dann Rö-Strahlen, im Versuch II zuerst Rö- und dann UV-Strahlen und schliesslich in einem letzten Versuch UV- und Rö-Strahlen gleichzeitig applizieren, um so festzustellen, ob die Wirkung eine verschiedene ist. — Somit bildet diese Arbeit mit den Darstellungen von *Salzmann* und *Bakes* ein abschliessendes Ganzes.

Methode

Die Bohnen Vicia faba aequina, die wir als Versuchsobjekte benutzten, wurden nach einer von *Glocker* und *Jüngling* ausgearbeiteten Methode behandelt. Wir haben nach Möglichkeit alle biologischen Faktoren ausgeschaltet, die unsere Versuche störend beeinflussen konnten.

Durch sorgfältige Auslese wurden alle Samen ausgeschaltet, die zu klein oder zu gross waren, die irgend eine Schädigung aufwiesen oder einen Schmarotzer beherbergten. Zuerst liessen wir die Bohnen 24 Stunden in Leitungswasser quellen und legten sie dann auf eine 4 cm dicke Schicht feuchtes, steriles Sägemehl und deckten sie mit nassem Fliesspapier zu. So blieben die Bohnen 3×24 Stunden in einem dunklen Raum mit einer Temperatur von ca. 22° C. Jeden Tag wurden die Kulturen angefeuchtet. Darauf wurden die Bohnen zur Bestrahlung ausgelesen. Von den 210 zum Keimen verwendeten Exemplaren wurden für den eigentlichen Versuch 72 Stück ausgewählt, die eine Wurzellänge von ca. 15—25 mm aufwiesen.

Es wurden 6 Gruppen zu je 12 Bohnen gebildet, davon diente eine Gruppe als Kontrolle, die 5 übrigen wurden verschiedenen Strahldosen ausgesetzt. Um dabei einen genauen Mittelwert zu erhalten, bestrahlten wir 10 Serien. Unsere Resultate sind somit Mittelwerte, die sich aus je 120 Einzelwerten ergeben.

Wir bestrahlten die ganze Bohne, und zwar so, dass die Absorptions- und Streueverhältnisse der Absolutmessung mög-

lichst angepasst waren. Als Unterlage wurde Cellophanpapier verwendet, ausgespannt auf einem Stickrahmen. Darauf lagen die Bohnen auf feuchtem Sägemehl im Kreis geordnet. Bestrahlt wurde täglich zwischen 16 und 17 Uhr. Für die Ultravioletbestrahlung verwendeten wir die Hanau Jubiläums-Lampe, Type SR 300 im Abstand von 20 cm und einer Zeitdauer von 5, 10, 20, 30 und 60 Sekunden. Zur Röntgenbestrahlung benutzten wir einen Tiefentherapieapparat, 60 kV, gemessen an Parallelfunkenstrecke ohne Filter (Grenzwellenlänge $\lambda = 0{,}18$ Å). Die Röstrahldosen wurden fortlaufend gemessen mit einem Momentan-Dosismeter. Der Abstand der Rö-Röhre wurde so gross gewählt, dass alle Objekte mit gleich grosser Intensität bestrahlt wurden. Die einzelnen Gruppen erhielten 5, 10, 20, 50 und 100 r und wurden ohne Unterbrechung bestrahlt. An die UV-Bestrahlung schloss sich gleich die Rö an und umgekehrt. Die dritte Versuchsart, bei der UV und Rö gleichzeitig appliziert werden musste, wurde so angeordnet, dass UV von oben und Rö von unten gleichzeitig die Objekte bestrahlten.

Nach der Bestrahlung werden die Bohnen in Glasgefässe gesetzt. Diese Gläser haben folgende Grösse: 16 cm tief, 6 cm breit und 11 cm lang. Das Gefäss wird mit Fliesspapier ausgekleidet. Ca. 1 cm unter dem obern Rande werden im Fliesspapier auf jeder Längsseite 3 Schlitze ausgeschnitten, durch die je ein Glasstäbchen gesteckt wird, welches zwischen Glaswand und Fliesspapier sich befindet und bis an den Boden des Gefässes reicht. Der Raum innerhalb des Fliesspapieres wird bis zu den erwähnten Schlitzen mit feuchtem Sägemehl gefüllt. Nun werden die bestrahlten Bohnen eingepflanzt und zwar so, dass die Wurzel durch den Schlitz neben dem Glasstab zwischen Fliesspapier und Glaswand senkrecht herunterwächst. Eine dünne Schicht feuchtes Sägemehl deckt die Bohnen zu. Auf diese Weise lässt sich das Wurzelwachstum bequem durch die Glaswand ablesen.

Nach der Einpflanzung wurden die Gläser ans Fenster gestellt, wo sie aber nicht dem direkten Sonnenlicht ausgesetzt waren. Durch Auswechseln der Gläser wurde dafür gesorgt, dass alle gleich belichtet wurden. Das Wachstum wurde anschliessend 7 Tage lang beobachtet und täglich um 18 Uhr gemessen.

Ergebnisse

Um die Wirkung der Summation von Ultraviolett- und Rö-strahlen am Wachstum der Pflanze festzustellen, beobachten wir das Längenwachstum der Hauptwurzel. Die Fehlerberechnung wurde nach der Gauss'schen Formel gemacht:

Mittlerer Fehler $F = \sqrt{\frac{\Sigma + \Delta^2}{(n-1)\,n}}$. Unter Δ verstehen wir die Differenz zwischen der Länge des täglichen Wurzelwachstums und dem Durchschnittslängenwachstum. n, sowie die in den Tabellen in Klammer angeführten Zahlen deuten auf die Anzahl Serien zu je 12 Stück.

Vergleichen wir nun die einzelnen Tabellen und graphischen Darstellungen. Ihre genaue Betrachtung verschafft uns einen Einblick in das Wesen der Summation von Rö- und UV-strahlen. Die graphischen Darstellungen zeigen das Verhältnis der Tageslänge der bestrahlten Bohnen, zur Tageslänge der jeweiligen Kontrollen. So erhalten wir z. B. für den ersten Tag

$$\frac{5\,s + 5\,r}{K} = \frac{20{,}2}{17{,}9} = 1{,}13.$$

Bei der Summation von 5 s UV und 5 r Rö haben wir schon am ersten Tag eine Förderung des Wachstums. Sie geht am dritten Tag zurück, um am 5. Tag ein Maximum zu erreichen und geht am 6. Tag über in ein verlangsamtes Wachstum. Sie wird an diesem Tage von der Kontrollpflanze überholt. Der zweite Versuch Summation von Rö und UV zeigt eine ähnliche Kurve. Hier setzt das Überholen der Kontrollpflanze schon nach dem vierten Tage ein. Einen ähnlichen Verlauf nimmt auch die Kurve im Versuch III, wo UV und Rö gleichzeitig appliziert wurden. In der graphischen Darstellung IV haben wir eine Summationskurve aufgestellt an Hand der Ergebnisse von *Salzmann* und *Bakes*. — Wir haben ihre Kurvenwerte, die sich ebenfalls aus dem Verhältnis der Tageslänge der bestrahlten Bohnen zur Tageslänge der jeweiligen Kontrollen ergaben, addiert und aus dem mathematischen Mittel eine Summationskurve aufgestellt, als graphische Darstellung IV. Dieser Kurve kommt lediglich theoretische Bedeutung zu und dient uns nur zu Vergleichszwecken. Zudem tritt insofern eine kleine Ungenauigkeit hinzu, indem *Salzmann* z. T. etwas höhere Rö-Dosen verwendete, als wir in unseren Versuchen, was aber keine wesentliche Rolle

spielt. — Dabei sehen wir, dass die Reizwirkung eine bis zum 4. Tag langsam steigernde ist und nach dem 6. Tag in ein verlangsamtes Wachstum übergeht.

Bei der Summation von 10 s + 10 r sehen wir bis zum 5. Tag eine Reizwirkung, die dann übergeht in ein verlangsamtes Wachstum. Der Versuch II zeigt hier eine Abweichung, indem nach dem 1. Tag eine starke Hemmung im Wachstum eintritt, die am 4. Tag zwar etwas abnimmt, dann wieder tief abfällt und am 7. Tag wieder in ein vermehrtes Wachstum übergeht. Im Versuch III haben wir bis zum 3. Tag eine Reizung, am 4. und 5. Tag eine Hemmung und anschliessend eine sichtliche Regeneration. Die Darstellung IV zeigt mit geringen Schwankungen bis zum 6. Tag eine Reizung, dann tritt eine Verlangsamung im Wachstum ein.

Die Summation mit 20 s + 20 r zeigt eine Reizung bis nach dem 2. Tag. Darauf tritt eine Hemmung ein. Am 5. Tag haben wir eine Regeneration, anschliessend starke Wachstumsverlangsamung. Etwas manifester ist der Versuch II. Am ersten Tag starke Reizung, am 2. schwache Hemmung, dann sichtliche Regeneration bis nach dem 6. Tag. Die Vergleichskurve IV zeigt hier ein ganz anderes Bild. Gleich am ersten Tag starke Wachstumshemmung, die am 3. und 4. Tag etwas abnimmt, um am 5. Tag wieder stark abzufallen.

Die Summation von 30 s + 50 r zeigt am ersten Tag eine Reizung, darauf tritt eine steigernde Wachstumsverlangsamung ein. Im Versuch II ist die Reizung am 1. Tag eine viel geringere. Die nachfolgende Verlangsamung zeigt am 3. Tag eine Regeneration, die am 4. Tag zwar wieder abfällt, um am 6. Tag in ein beschleunigtes Wachstum überzugehen. Die Versuchskurve III ist der vom Versuch II ähnlich, mit dem Unterschied, dass die Wachstumskurve eine viel kleinere ist und die beginnende Regeneration zwischen dem 5. und 6. Tag in ein beschleunigtes Wachstum übergeht. Die Kurve in Darstellung IV ist der Summationskurve 20 s + 20 r ähnlich.

Der Summationsversuch 60 s + 100 r zeigt am ersten Tag eine schwache Reizung, dann tritt eine enorme Wachstumsverlangsamung ein. Am 5. Tag beginnt eine leichte Regeneration. Der Versuch II zeigt das gleiche Bild. Hier setzt die Regeneration erst am 6. Tag ein. Ein ungewöhnliches Bild zeigt der Versuch III. Es ist der einzige Versuch, der keine Reizung aufweist. Dafür aber ist die Wachstumshemmung nur halb so gross

wie bei den beiden andern Versuchen. Am 5. Tag beginnt auch hier die Regeneration. Diese Kurve zeigt grosse Ähnlichkeit mit der Vergleichskurve IV.

Die Geamtheit unserer Darstellungen überblickend, kommen wir zu folgenden Feststellungen: Die Summation mit kleinen Dosen zeigt deutlich eine Steigerung im Wachstum, und zwar vom 1. Tage an. Auch die höheren Strahldosen zeigen am 1. Tage eine Wachstumssteigerung, gehen dann aber gleich über in eine Verlangsamung. Ferner machen wir auch hier die Beobachtung, dass Keimlinge, deren Wachstum anfangs beschleunigt ist, später übergehen in ein geringeres Wachstum, während Pflanzen mit anfänglicher Wachstumshemmung in ein gesteigertes Wachstum übergehen. Förderung, Hemmung und biologische Regeneration sind die Faktoren, die das Wachstum der bestrahlten Bohnen beeinflussen. Die kleinen Strahlenmengen, die das Wachstum fördernd beeinflussen, gehen über in eine Spätschädigung, während die Frühschädigung durch grosse Dosen sich später regeneriert. *Salzmann* machte schon in seiner Arbeit diese Feststellung; sie tritt auch hier bei unsern Summationsversuchen deutlich zu Tage.

* * *

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass eine Summation von UV- und Rö-Strahlen vorhanden ist. Die Summation wirkt am ersten Tage mit einer einzigen Ausnahme auf der ganzen Linie fördernd auf das Wachstum unserer Pflanzen. Diese Summation ist aber keine vollständige und zeigt eine grosse Abhängigkeit von der Art der Applikation. Wir finden im Wesentlichen keine grossen Unterschiede, ob wir zuerst UV, dann Rö, oder Rö und dann UV applizieren. Ein enormer Unterschied zeigt sich erst bei der gleichzeitigen Applikation von UV- und Rö-Strahlen. Die Amplituden unserer Kurven in der graphischen Darstellung III zeigen eine bedeutende Einschränkung. Zwar ist die Reizwirkung der kleinen Dosen am 1. Tag eine grössere, hingegen ist die Schädigung gewaltig verkleinert. Eine Erklärung lässt sich dahin deuten, dass sich die Strahlen durch gleichzeitige Applikation gegenseitig abschwächen. Die durch Rö-Strahlen hervorgerufene Jonisation wird durch Anregung von UV teilweise wieder rückgängig gemacht.

Vergleichen wir aber unsere drei Kurven mit der aus den Versuchen von *Salzmann* und *Bakes* theoretisch berechneten Kurve, so kommen wir zu folgenden Feststellungen: Nach den graphischen Darstellungen zeigt es sich, dass die gleichzeitige Applikation von UV und Rö-Strahlen die vollständigste Summation darstellt, indem ihre Kurven die grössten Ähnlichkeiten mit der theoretischen Darstellung IV aufweisen, während die beiden ersten Versuche, wo die Applikation von UV und Rö-Strahlen hintereinander erfolgte, grössere Abweichungen aufweisen, indem sie eine besonders starke Wachstumsschädigung an den Tag legen.

Tabelle I

Summation UV + Röntgen

Tägliches Wurzelwachstum in mm

	Kontrolle (10)	5s + 5r (10)	10s + 10r (10)
1. Tag:	17,9 ± 0,55	20,2 ± 0,41	20,0 ± 0,64
2. Tag:	19,4 ± 0,31	19,8 ± 0,48	20,3 ± 0,64
3. Tag:	18,9 ± 0,51	18,9 ± 0,38	19,4 ± 0,80
4. Tag:	18,4 ± 0,49	18,6 ± 0,49	18,9 ± 0,80
5. Tag:	17,1 ± 0,88	18,3 ± 0,62	17,1 ± 0,79
6. Tag:	15,6 ± 0,85	15,3 ± 0,66	14,1 ± 0,99
7. Tag:	13,7 ± 0,99	12,8 ± 1,02	11,1 ± 0,65

	20s + 20r (10)	30s + 50r (10)	60s + 100r (10)
1. Tag:	19,2 ± 0,33	18,9 ± 0,91	18,4 ± 0,54
2. Tag:	19,6 ± 0,40	18,7 ± 0,45	16,6 ± 0,54
3. Tag:	18,4 ± 0,64	17,3 ± 0,42	13,5 ± 0,48
4. Tag:	18,1 ± 0,33	15,7 ± 0,75	10,5 ± 0,46
5. Tag:	17,3 ± 0,58	14,3 ± 0,89	9,8 ± 0,39
6. Tag:	14,6 ± 0,72	12,9 ± 1,06	8,8 ± 0,34
7. Tag:	11,6 ± 0,61	11,3 ± 0,80	8,3 ± 0,41

Tabelle II

Summation Röntgen + UV

Tägliches Wurzelwachstum in mm

	Kontrolle (10)	5r + 5s (10)	10r + 10s (10)
1. Tag:	17,9 ± 0,34	19,3 ± 0,33	19,2 ± 0,69
2. Tag:	19,4 ± 0,38	19,4 ± 0,54	18,3 ± 0,45
3. Tag:	18,9 ± 0,27	19,1 ± 0,33	14,9 ± 0,83
4. Tag:	18,1 ± 0,56	18,6 ± 0,64	17,1 ± 0,82
5. Tag:	18,1 ± 0,90	17,0 ± 0,78	14,9 ± 0,82
6. Tag:	15,2 ± 0,83	13,9 ± 0,56	12,0 ± 0,70
7. Tag:	10,6 ± 0,92	9,6 ± 0,69	11,0 ± 0,46

	20r + 20s (10)	50r + 30s (10)	100r + 60s (10)
1. Tag:	19,5 ± 0,63	18,9 ± 0,45	18,0 ± 0,45
2. Tag:	19,7 ± 0,48	18,4 ± 0,44	17,1 ± 0,34
3. Tag:	18,3 ± 0,82	15,6 ± 0,64	12,8 ± 0,42
4. Tag:	16,8 ± 0,78	14,7 ± 0,48	9,7 ± 0,31
5. Tag:	15,5 ± 0,70	13,0 ± 0,81	8,5 ± 0,66
6. Tag:	13,3 ± 0,99	12,3 ± 0,99	7,2 ± 0,79
7. Tag:	12,1 ± 0,77	11,0 ± 0,53	6,8 ± 0,21

Tabelle III

Summation Röntgen + UV gleichzeitig

Tägliches Wurzelwachstum in mm

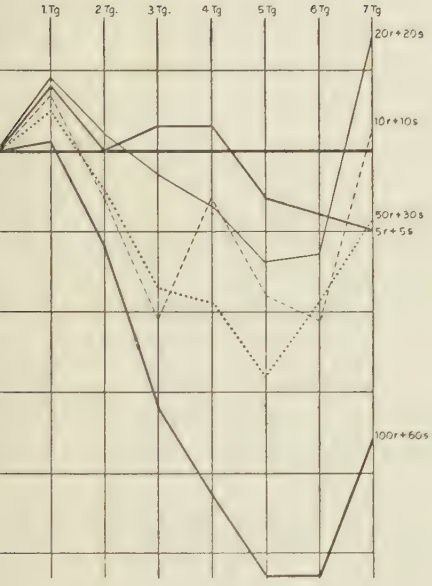
	Kontrolle (10)	5r + 5s (10)	10r + 10s (10)
1. Tag:	15,8 ± 0,72	17,8 ± 0,73	18,5 ± 0,70
2. Tag:	18,6 ± 0,80	19,8 ± 0,86	18,7 ± 0,45
3. Tag:	16,7 ± 0,45	17,8 ± 0,84	16,7 ± 0,90
4. Tag:	15,8 ± 0,99	16,4 ± 0,64	15,2 ± 0,67
5. Tag:	16,4 ± 0,89	15,6 ± 0,79	16,0 ± 0,92
6. Tag:	13,0 ± 0,87	12,6 ± 0,78	13,2 ± 0,45
7. Tag:	11,6 ± 0,72	10,2 ± 0,56	11,6 ± 0,68

	20r + 20s (10)	50r + 30s (10)	100r + 60s (10)
1. Tag:	18,0 ± 0,89	16,1 ± 0,96	15,3 ± 0,60
2. Tag:	18,0 ± 0,36	17,7 ± 0,83	16,1 ± 0,62
3. Tag:	17,3 ± 0,68	16,6 ± 0,85	14,5 ± 0,81
4. Tag:	16,5 ± 0,70	14,8 ± 0,61	13,2 ± 0,82
5. Tag:	16,4 ± 0,98	15,7 ± 0,75	13,5 ± 0,81
6. Tag:	13,9 ± 0,89	13,8 ± 0,81	11,9 ± 0,84
7. Tag:	11,3 ± 0,95	11,4 ± 0,79	11,0 ± 0,29

Graphische Darstellungen

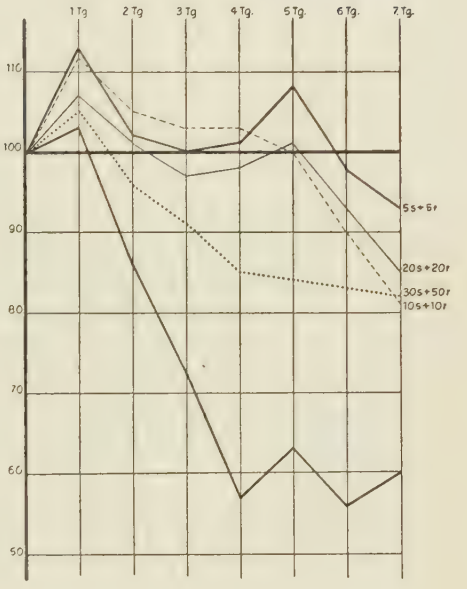
I.

UV + Rö



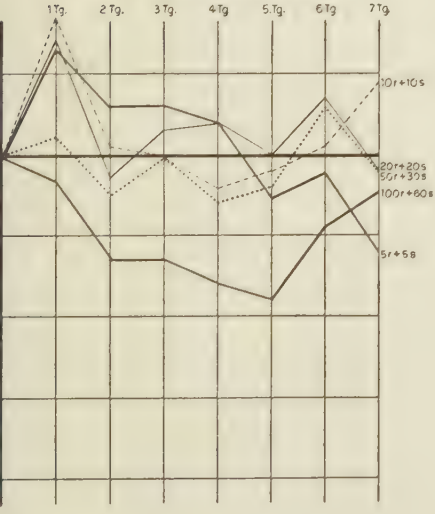
II.

Rö + UV

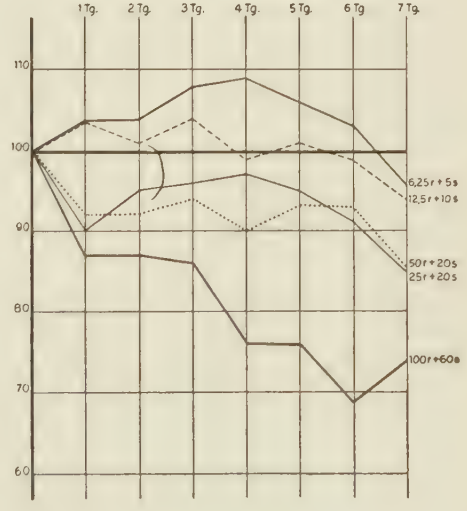


III.

Rö + UV gleichzeitig



IV.



Literatur

Glocker R. und Reuss A.: Über die Wirkung von Röntgenstrahlen verschiedener Wellenlänge auf biologische Objekte (Strahlentherapie, Band 46, 1933, Seite 137).

Herren I.: Veränderung der Grössenzunahme von Wurzeln unmittelbar während der Röntgenbestrahlung (Band 43, 1932, Seite 160).

Glocker R., Hayer F., Jüngling O.: Über die biologische Wirkung verschiedener Röntgenstrahlenqualitäten bei Dosierung in r-Einheiten (Band 32, 1929, Seite 1).

Schreiber H: Über Kombinationswirkung von Ultraviolett- und Ultrarotstrahlung (Band 60, 1937, Seite 518).

Salzmann A.: Über den Einfluss von Röntgenstrahlen auf das Wachstum der Sojabohne (Diss. 1940 Bern).

Bakes H.: Über den Einfluss von Ultravioletttstrahlen auf das Wachstum der Sojabohne (Diss. 1940 Bern).